

TN 6
10

000466
371

电子线路实验

高玉成 编

吉林大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委公布的“综合性大学物理专业培养规格和教学基本要求”中对“电子线路实验内容”的要求编写而成。

主要内容为元器件测试、常用电子仪器使用、晶体管电路、TTL 数字电路、CMOS 数字电路、集成运算放大器等实验,并介绍了正确运用上述器件必备的资料。

本书可作为综合大学物理系、师范大学物理系电子线路实验课教材,也可供电子技术工作者参考。

电子线路实验

高玉成 编

吉林大学出版社出版
(长春市东中华路 29 号)

吉林省新华书店发行
吉林农业大学印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16

1992 年 12 月第 1 版

印张: 8.875

1992 年 12 月第 1 次印刷

字数: 200 千字

印数: 1—1650 册

ISBN 7-5601-1296-X/O · 145

定价: 2.75 元

前 言

在电子技术迅速发展的今天,集成电路的应用越来越广泛,大有取代分立器件电路的趋势.为了适应这种形势,本教材以集成电路实验为主,以晶体管电路实验为辅.本书着重介绍了 TTL 数字电路、CMOS 数字电路、集成运算放大器和集成稳压器的基本实验,力图为学生掌握近代电子技术打下一个好的基础.为了帮助读者准确地理解器件的工作原理、性能特点,正确地运用它们,本书还介绍了必要的资料.因而它也可以供电子技术人员参考.

大家知道,对于科技工作者来说,电子技术是一种不可缺少的技能.想掌握电子技术,做好电子线路实验是一个重要的环节.

本书是编者多年进行电子线路实验课教学经验的总结,对学生实验课中的难点——仪器的使用方法作了具体介绍.希望读者在根据本书进行电子线路实验时能抓住下面几点:

1. 注意掌握 TTL 数字电路的 7400 系列,CMOS 数字集成器件 CC4000 系列,集成运算放大器等的特性,使用方法及典型应用.
2. 正确地掌握常用电子仪器的使用方法,特别是能较准确地使用电子示波器.
3. 掌握安装(包括焊接技术)、调整电路的技术,学会电路性能测试方法.能准确地测量各种电信号的时间和幅度值.
4. 根据已掌握的电路基本知识,能具体地总结实验结果与分析实验现象.

培养学生自己动手解决电子技术问题是很重要的,为达此目的,编者根据自己的经验建议:凡有条件的实验室,最好是一人一套仪器,从电路的安装(包括焊接)、调整,到电路性能的测试,都要求同学自己独立完成.

本教材包括十三个实验,其中常用电子仪器使用方法实验两个,晶体管放大电路实验两个,直流稳压电源实验一个,TTL 数字电路实验四个,CMOS 数字电路实验二个,集成运算放大器实验两个.每次实验课要求在四学时内完成,全部实验可通过 13~15 次实验课完成.

本书初稿曾由宁广安副教授、王贵信副教授审阅,提出很多宝贵的修改意见.刘倩工程师为书中的实验电路提供了很多数据,在此一并表示感谢.

由于编者理论水平与实际经验有限,不妥与谬误之处,恳请读者批评指正.

编者 高玉成

1991 年 10 月于吉林大学物理系

目 录

常用符号说明	(1)
实验一 电阻、电容和晶体管特性测试	(1)
实验二 常用电子仪器的使用	(17)
附录一 双踪示波器使用方法简介	(21)
附录二 SS-5702 双踪示波器技术指标	(27)
实验三 单管电压放大器	(30)
附录一 电路焊接安装基本知识	(35)
附录二 SX2172 型交流毫伏表	(37)
实验四 负反馈放大器	(40)
实验五 集成运算放大器	(45)
选作题:减法器电路	(51)
附录一 运算放大器的过载保护与调零	(52)
附录二 国产通用型 F741 运算放大器主要性能简介	(53)
实验六 文氏桥振荡器	(55)
选作题:一、研究运放组成的施密特电路输出电压与输入电压关系	(59)
二、运算放大器组成的方波、三角波发生器	(59)
实验七 整流、滤波与稳压	(61)
选作题:三端集成稳压器	(67)
附录 国产 CW7800 系列、CW7900 系列三端集成稳压器特性简介	(68)
实验八 门电路外特性测试	(70)
选作题:TTL 与非门传输时间 t_{pd} 测量	(78)
附录一 国产 TTL 集成电路系列与国际上主要公司产品系列对应情况	(79)
实验九 触发器	(84)
附录一 XC-16A 脉冲发生器使用方法	(90)
实验十 CMOS 数字集成电路	(93)
选作题:CMOS 型 D 触发器 CC4013B、CMOS 型 JK 触发器 CC4027B 组成的计数器	(101)
附录一 CMOS 型门电路、触发器电参数	(101)
实验十一 单稳态电路	(104)
选作题:TTL 集成单稳态触发器 T1121(74121)	(112)
附录一 国产时基电路 CB555/CB556 主要电参数	(115)
实验十二 十进制计数器	(116)
选作题:一、二~五~十进制计数器 74LS90	(121)
二、BCD-七段译码器 74LS48 与显示	(123)
实验十三 简单脉冲发生器	(127)
参考文献	(134)

实验一 电阻、电容和晶体管特性测试

实验目的

1. 学习万用表、电容表及晶体管特性图示仪的使用方法,及使用时的注意事项。
2. 掌握电阻阻值、电容容量及晶体管特性的测试方法。

实验仪器

万用表,电容表, JT-1 型晶体管特性图示仪。

实验元器件

二极管 2AP9, 2CP13 各一只, 三极管 3AX31B(或 3AX21B) 3DG6C 各一只, 稳压管 2DW7C 一只, 场效应管 3DJ6F 或 3DJ7G 一只, 电阻、电容各若干只。

实验原理

在这里主要介绍万用表、电容表及 JT-1 型晶体管特性图示仪的使用方法, 电阻、电容和晶体管是组成电子电路的基本元器件, 因此测量电阻的阻值、电容的容量及晶体管的特性是电子线路实验的基本工作。

大家知道, 万用表是电子学实验室或其他一些实验室里最常用最简单的仪器, 它可以很方便地测量电阻的阻值, 交直流电压和电流的数值。万用表的种类形式很多, 有指针式的和数字式的两种, 数字显示测得结果数值的万用表为数字式万用表, 用指针指示数值的万用表为指针式的万用表。万用表一般都有两个开关, 一是功能选择开关, 选择要测量的量是电压还是电流或者是电阻, 若是电压、电流那么是直流的还是交流的, 通过这个开关加以选择。例如你要测电阻, 就将功能选择开关置于“ Ω ”档上, 如要测量直流电压则需将选择开关置于“DCV”档上, 等等。另一个是测量的量程选择开关, 如你要测 20 几个欧姆的电阻, 就需将此开关置于 200 Ω 档上, ……。也有一个选择开关的万用表, 既能选择你要测的是什么量, 又包括量程在内, 比如 MF47 型指针式万用表就是一个选择开关, 测电阻有五个位置即五个量程 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 、 $\times 1k$ 、 $\times 10k$, 测量结果为指针指示数再乘以上边的倍乘。注意, 测量电阻每个量程均需要进行调零。再以 ADM-7106 型数字式万用表为例说明数字式万用表的使用方法, 其面板结构示意图如图 1-1 所示, 各插孔和开关的作用如下:

COM 插孔: 公共“-”或输入低端。

V 插孔: 电压测量插孔, 最高 1000VDC 或 750VAC。

A/ Ω 插孔: 电流(最高 200mA)或电阻测量插孔。

10A 插孔: 仅用 10A 量程电流测量。

电源开关 OFF、DC、AC;

OFF: 开关置于此位, 电源断开。

DC: 开关置于此位, 电源接通, 用于电阻及直流测量。

AC: 开关置于此位, 电源接通, 用于交流测量。

功能开关: Ω 、A、V;

Ω : 开关置此位, 用于电阻测量。

A: 开关置此位, 用于电流测量。

V: 开关置此位, 用于电压测量。

量程选择开关:

上部为电阻量程, 下部为电压和电流量程。电阻测量有六个量程: 即 200Ω 、 $2k\Omega$ 、 $20k\Omega$ 、 $200k\Omega$ 、 $2M\Omega$ 、 $20M\Omega$ 。电压测量: 直流有五个档, 最大到 $1000V$, 交流最大到 $750V$ 。电流测量有五个档, 即 $0.2mA$ 、 $2mA$ 、 $20mA$ 、 $200mA$ 。这四档共用一个孔, $10A$ 档单独用一个插孔。

显示器:

三位半液晶显示器, 最大读数为 1999。

由面板结构情况就可以知道它的用法是比较容易掌握的。要测量什么量, 将表笔置于相应的插孔, 然后接通电源开关, 置于 DC 或 AC 处, 再置功能选择开关于相应的位置 (即 Ω 、A 或 V) 上, 最后选择合适量程就可以进行测量了。比如要测 $12V$ 的直流电压, 只需电源开关置 DC 处, 功能开关置 V 处, 量程选为 $20V$ (因此位最大可测 $19.99V$) 档上, 两表笔插于 COM 和 V 两插孔就可进行测量了, 表的读数即为被测电压值。

电容表是测量电容容量的专用仪器, 测量精度比较高, 一般情况下电容的容量不测量, 只有在要求较准确时才进行电容容量的测量。在要求不太高的地方可用万用表粗略地估量一下就可以了, 具体方法这里就不做介绍了。MI-303A 型数字式电容表, 它的测量范

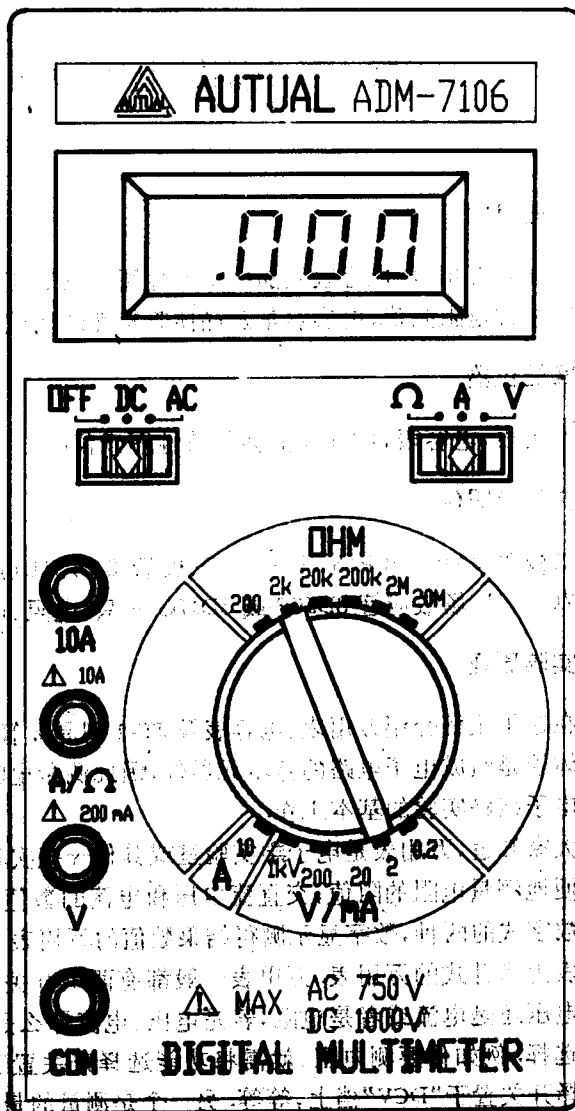


图 1-1 ADM-7106 型万用表面板示意图

图是 $0.1\text{pF} \sim 1999\mu\text{F}$ 。为了能正确地使用它, 请注意下述事项:

1. 为了防止仪表损坏, 不要用测试棒去触及任何种类的电源。
2. 电容尤其是电解电容器, 在测试前应让其充分地放电。
3. 有极性电容器, 在测试时应注意它的极性, 不要接错。
4. 不要短接测试棒, 以减少不必要的电源消耗, 当测试棒短接时, 所有量程都显示“1”。

5. 当使用 200pF 、 2nF 、 20nF 量程时, 测量前要调零, 调整方法是, 接好测试棒, 调节调零旋钮, 使显示器指示为零。0 位调好后, 测试过程中不要改变测试线之间的相对位置。

电容容量单位是法拉, 用 F 表示, 实际应用中法拉这个单位太大, 一般地用 $10^{-6}\text{F} = 1\mu\text{F}$, 称为微法, $10^{-9}\text{F} = 1\text{nF}$, 称为纳法, $10^{-12}\text{F} = 1\text{pF}$, 称为皮法 (微微法)。在电子电路中 pF 、 nF 、 μF 是几个常用的单位。

图 1-2 是 MI-303A 型数字式电容表的面板结构示意图。由图可知, 电容表的使用方法是简单的。在测量电容时, 只须将被测电容接于测试孔之间, 把量程选择开关的合适档按下。比如要测的电容为 4700pF , 将 20nF 档量程按钮按下, 则显示器显示的数值即为所测得之电容的容量值。因为电容表的显示器也是三位半液晶显示构成, 20nF 档量程能测试的最大容量为 19.99nF 。

JT-1 晶体管特性图示仪

晶体管特性图示仪是测定晶体管特性的专用仪器。它能够测定二极管的伏-安特性, 晶体三极管的共基、共射等输入和输出特性曲线, 也能够测定晶体管共基极、共射极电流放大系数 α 和 β 。

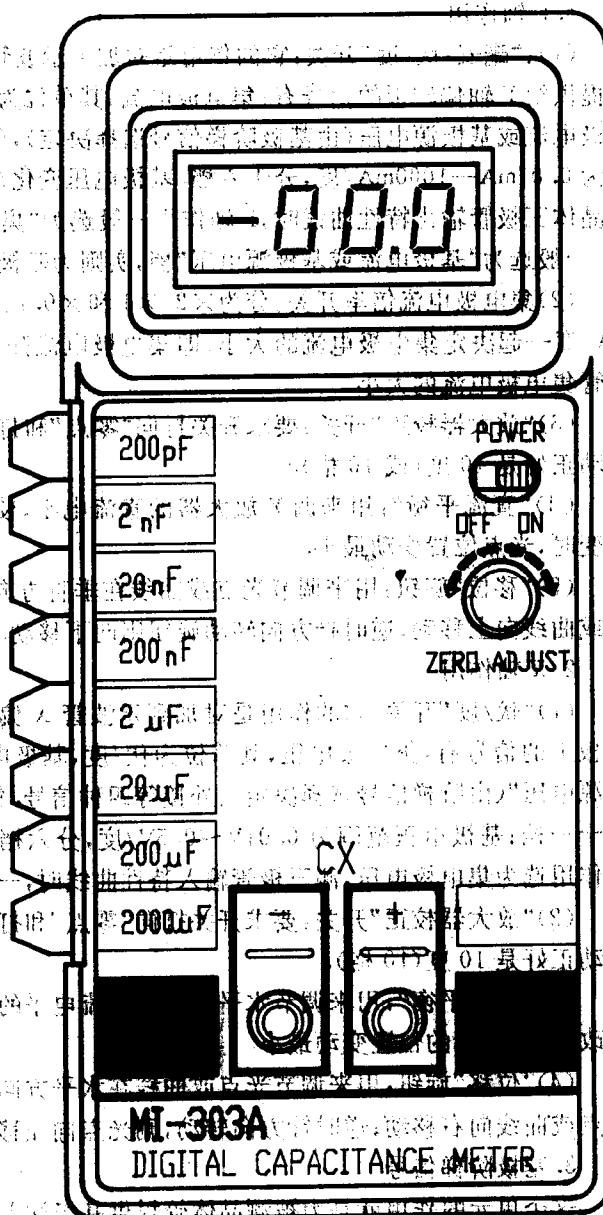


图 1-2 MI-303A 型数字电容表面板示意图

图示仪还可以测定晶体管的各种反向饱和电流 I_{CBO} 、 I_{CEO} 、 I_{EBO} 和各种反向击穿电压 BV_{CBO} 、 BV_{CEO} 、 BV_{EBO} 等等,用途极为广泛。

一、面板主要开关、旋钮及其作用

JT-1 型晶体管特性图示仪面板结构示意图如图 1-3 所示。面板主要有 Y 轴作用, X 轴作用, 基极阶梯信号, 集电极扫描信号, 和测试选择等五个部分组成的。下面分别介绍他们的功能:

1. Y 轴作用

(1)、“毫安-伏/度”开关:它的作用是对加到示波管 Y 轴偏转板上的信号进行变换。它能提供给 Y 轴偏转板的信号有:集电极电流,其单位为 mA/度,基极电压,其单位为 V/度,基极电流或基极源电压(由基极阶梯信号选择决定),外接等四种信号。集电极电流变化范围为 0.01mA—1000mA/度,分十六档。基极电压变化范围为 0.01V—0.5V/度,分六档。测量晶体三极管输出特性曲线时,Y 轴作用一般选为“集电极电流”;测三极管输入特性曲线时,一般选为“基极电流或基极源电压”档,实则为基极电流。

(2)集电极电流倍率开关:分为 $\times 2$ 、 $\times 1$ 和 $\times 0.1$ 三档。它的作用是和集电极电流开关 mA/度一起决定集电极电流的大小,即集电极电流开关 mA/度的示数再乘以倍率即为被测管集电极电流的大小。

(3)“放大器校正”开关:要求开关打向“零点”和打向“—10 度”时,光点在 Y 方向上的移动正好是 10 度(或 10 格)。

(4)“直流平衡”:用来调 Y 放大器的直流电平,使基极电压在 0.01V~0.5V/度各档改变时,光点位置变动最小。

(5)“移位”旋钮:用来调节光点或曲线在垂直方向上位置的。顺时针方向转动旋钮光点或曲线向上移动,逆时针方向转动旋钮则向下移动。

2. X 轴作用

(1)“伏/度”开关:它的作用是对加到示波管 X 偏转板上信号进行变换,加到 X 轴偏转板上的信号有:集电极电压,其单位为伏/度,基极电压其单位为 V/度,“基极电流或基极源电压”(由阶梯信号选择决定)、外接等四种信号。集电极电压范围为 0.01V~20V/度,分十一档;基极电压范围为 0.01V~0.5V/度,分六档。测晶体三极管输出特性曲线时,X 轴作用选为集电极电压,测三极管输入特性曲线时,一般 X 轴作用选为基极电压。

(2)“放大器校正”开关:要求开关打向“零点”和打向“—10 度”时,光点在 X 轴方向上移动正好是 10 度(10 格)。

(3)“直流平衡”:用来调节水平放大器直流电平的,使基极电压在 0.01V~0.5V/度各档改变时,光点的位置变动最小。

(4)“位移”旋钮:用来调节光点或曲线在水平方向上位置的。即顺时针方向转动旋钮,光点或曲线向右移动;逆时针方向转动,则光点向左移动。

3. 基极阶梯信号

这个单元的作用就是为被测晶体管提供基极注入电流,对场效应管提供栅极电压。

(1)“级/秒”开关:用于选择阶梯波重复频率,分上 100、下 100 和中间 200 三档,一般选 200 档。

JT-1 型晶体管特性图示器

Y轴作用
毫安·伏/度
5 2 1
0.5 0.2 0.1
0.05 0.02 0.01
5 2 1
0.5 0.2 0.1
0.05 0.02 0.01
1000 外标
基极电流毫安
基极电压伏

X轴作用
伏/度
毫安/度
5 2 1
0.5 0.2 0.1
0.05 0.02 0.01
5 2 1
0.5 0.2 0.1
0.05 0.02 0.01
10 20 外标
集电极电流毫安
集电极电压伏

集电极扫描信号
峰峰值电压
0~20伏
0~200伏
10安
1安
1.0安
PNP
NPN
极性
×10
×1
峰峰值电压
频率
10 20 30 40 50 60 80 100 200 500 1k 2k 5k 10k 20k
频率限制总阻

基极阶梯信号
集/秒
200
100
极性
阶梯作用
关
单级
串联电阻
100 60 47 33 22 15 10 5 2.2 1.5 1.1 0.8 0.5 0.3 0.2 0.1 0.05 0.02 0.01 0.005 0.002 0.001
基极电压
+ -
PNP NPN
阶梯选择
毫安/度
0.02 0.01 0.005 0.002 0.001
0.1 0.2 0.5 1 2 5 10 20 50 100
集/度
12
阶梯调零

测试选择
晶体管A
晶体管B
发射极接地
基极接地
C B E
C B E
C B E
电源开

1-3 JT-1 型晶体管特性图示仪面板图

(2)“极性”开关:用于改变基极注入电流方向的,对于场效应管用来改变栅压极性的.极性的选择要按被测晶体管特性与接地的方式进行选择,对于NPN、PNP型三极管基极阶梯信号选择可按表1-1所示:

表 1-1 阶梯波极性选择

	NPN	PNP
发射极接地	+	-
基极接地	-	+

(3)“阶梯作用”开关:分为重复、单、关三档.当测晶体管特性时要选“重复”;当观察被测晶体管各种极限特性时,置开关于“单族”位置;不需阶梯信号时,如测 I_{CEO} 时需将此开关置“关”的位置.

(4)“阶梯选择”开关:它的作用就是对基极阶梯信号进行变换.测晶体管特性时,选择基极电流部份,其单位为“mA/级”,基极电流范围为 $0.001\text{mA} \sim 200\text{mA/级}$,共十七档,测场效应管时,选择基极电压(提供栅压),其单位为“V/级”,其范围为 $0.01\text{V} \sim 0.2\text{V}$ 共分五个档.

(5)“串联电阻”:当“阶梯选择”开关置于“伏/级”位置时,串联电阻将接入被测晶体管的输入回路中,配合被测管的输入特性,可确定该管的最佳转移特性.当“阶梯选择”开关置于“毫安/级”位置时,串联电阻失去控制作用.

(6)“零电流”与“零电压”开关:该开关有“零电流”、“中间位置”、“零电压”三个位置.当开关处于中间位置时,被测晶体管基极与阶梯信号接通,此时可以测晶体管的输入与输出特性曲线.当开关置于“零电流”位置时,被测管输入回路处于开路状态,如果共射极接法则可测 I_{CEO} 特性;当开关处于“零电压”位置时,被测管基极与射极被短路,因此可以测 I_{CIS} 和 I_{CES} 特性.

(7)“级/族”旋钮:用来调节每族特性曲线阶梯信号的级数,这个级数可在 $4 \sim 12$ 之间连续可变.例如图1-4所示这族输出特性曲线是由四级(条)曲线组成的.

(8)“阶梯调零”旋钮:它的作用是让阶梯信号起始级的电位处于零电平的位置上.调整方法如下,置各主要开关于下列位置:Y轴作用的“毫安-伏/度”开关,置于“基极电流或基极源电压”位置.

X轴的“伏/度”开关,置于“集电极电压”中的“ 1V/度 ”的位置.

“阶梯选择”开关置于 0.01V/级 或 0.02V/级 均可;“阶梯作用”开关置于“重复”位置;阶梯“极性”置“+”位置.

集电极扫描信号的“峰值电压范围”置于 $0 \sim 20\text{V}$ 位置;“极性”开关“置于+”的位置.

为观察方便起见,将X、Y轴坐标原点调到荧光屏的左下角,然后逐步加大集电极扫

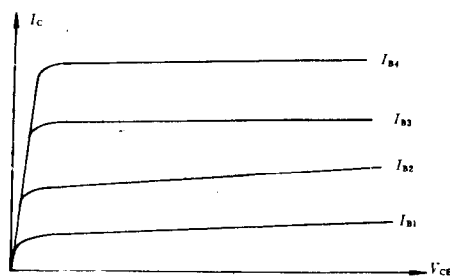


图 1-4 晶体管输出特性曲线

描电压的幅度,在荧光屏上就会出现如图 1-5 所示之阶梯信号。将 Y 轴作用中的“放大器校正”开关置于“零点”位置,记下此时光迹的位置,再让“放大器校正”开关处于中间位置(复位)后,调节“阶梯调零”旋钮,使阶梯信号的起始级(最下面一根直线)与“放大器校正”开关处于“零点”时光迹位置相重合,阶梯零点就调好了。这样阶梯信号的起始电位就处在零电平的位置上,在以后的测试过程中不要再动“阶梯调零”旋钮。

4. 集电极扫描信号

这个单元的作用是为被测晶体管提供集电极扫描电压,对场效应管提供漏极扫描电压。

(1)“峰值电压范围”开关:设有“0~20V(10A)”与“0~200V(1A)”两档,测一般晶体管时,将“峰值电压范围”开关置于 0~20V 位置即可。当需要改换“峰值电压范围”时,必须先将“峰值电压”调到零,换挡后再按需要逐步增加扫描电压,否则易将被测晶体管击穿。

(2)“峰值电压”旋钮:它可以在“0~20V”或者“0~200V”之间连续调节,由被测晶体管特性确定,将“峰值电压范围”开关放到相应位置即可。

(3)“极性”开关:它分为“+”、“-”两档,测量 NPN 型晶体管时选为“+”极性;测 PNP 型晶体管选为“-”极性。

(4)“功耗限制电阻”:它提供 0、1 Ω 、...50k Ω 、100k Ω 十七种阻值电阻,将不同阻值电阻串接于电源电压与被测晶体管集电极回路中,用于控制被测晶体管的功耗,这个电阻实际上即为被测晶体管集电极的直流负载电阻。显然,改变这个电阻,即可改变被测晶体管输出特性曲线族直流负载线斜率。

5. 晶体管测试台:

(1)“测试选择”开关:用来选择插座 A,还是插座 B,当两个插座均插有晶体管时,这样可以迅速地分析和比较 A、B 两个晶体管的特性。当开关置于关的位置时,则不进行测试。

(2)“射极接地”或“基极接地”选择开关:用来选择共射极特性测试还是共基极特性测试,当开关指向“射极接地”时可进行共射特性测试,当开关指向“基极接地”时可进行共基极特性测试。

(3)插座:分固定和可变的两种,固定的由接线柱或配合外插座(如大功率管特性测试)运用;可变插座要与“接地选择”开关配合使用。

二、JT-1 型晶体管特性图示仪使用方法的介绍

JT-1 型晶体管特性图示仪可以测量并显示二极管的伏-安特性,晶体三极管输入、输出特性曲线;以及场效应管的特性等。下面举例说明图示仪的使用方法。

1. 晶体二极管伏-安特性测试

二极管种类虽多,但无论是整流二极管、检波二极管还是开关二极管其伏安特性曲线

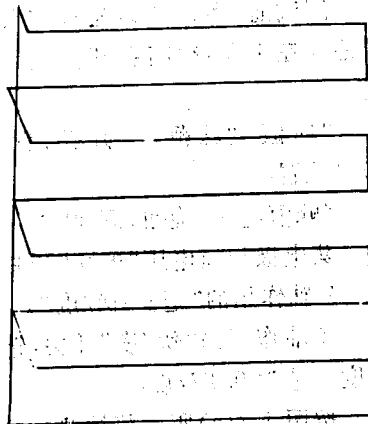


图 1-5 阶梯信号

都基本上如图 1-6 所示。JT-1 型图示仪不能一次将这个曲线全显示出来，因为它的扫描电压是从零开始，正的从 0 向正方向扫，负的从 0 向负方向扫，所以要测试二极管特性曲线必须分两段进行，即二极管正向特性曲线和反向特性曲线分别进行测试。

(1) 二极管正向特性测试

测试前，将 X、Y 轴坐标零点移到屏幕的左下角，须将各开关置下列位置：

“峰值电压范围”开关，置“0~20V”位置。

“峰值电压”旋钮，调到“零”的位置。

集电极扫描电压“极性”开关，置于“+”的位置上。

Y 轴作用的“毫安-伏/度”开关选为集电极电流 mA/度，灵敏度放在 0.5mA/度上。

X 轴作用的“伏/度”开关，选为集电极电压，对 2CP13 或 2CK18 一类硅二极管，其灵敏度可选为 0.1V/度。

按图 1-7(a)所示将被测二极管接入插座，然后逐步加大峰值电压便可得到如图 1-7(b)所示的二极管正向伏安特性曲线。从这条特性曲线很容易确定出二极管的正向特性电

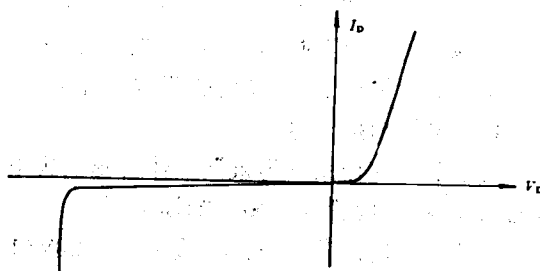


图 1-6 二极管伏-安特性

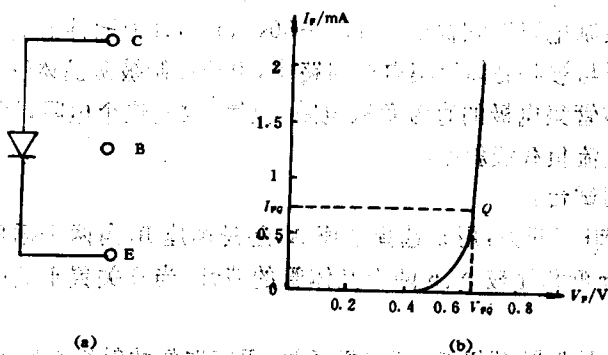


图 1-7(b) 2CP 或 2CK 型二极管正向特性曲线

参数，如正向压降 V_F 、正向直流电阻 R_F 、正向交流电阻 r_F 等。硅二极管 2CP 或 2CK 型的正向压降一般为 0.6~0.8V，锗二极管 2AP 或 2AK 型的正向压降一般为 0.2~0.4V，要说准确就须指定某电流 I_{F0} 下的压降为 V_{F0} ，如图 1-7(b)所示，其正向直流电阻为 $R_F = \frac{V_{F0}}{I_{F0}}$ 。

(2) 二极管反向特性测试

同测二极管正向特性一样将 X、Y 轴坐标零点移到屏幕的左下角，各开关需置下列位置：

“峰值电压范围”开关，置“0~200V”位置。

“峰值电压”旋钮,调到“零”的位置。

集电极扫描电压“极性”开关,置“十”的位置。

Y轴作用的“毫安-伏/度”开关,选为集电极电流 mA/度,灵敏度可选 0.1mA/度。

X轴作用的“伏/度”开关选集电极电压,其灵敏度可放到“10V/度”或“20V/度”上。

按图 1-8(a)所示将被测二极管接入插座,然后逐步加大峰值电压便可得到如图 1-8(b)所示的二极管反向伏安特性曲线。

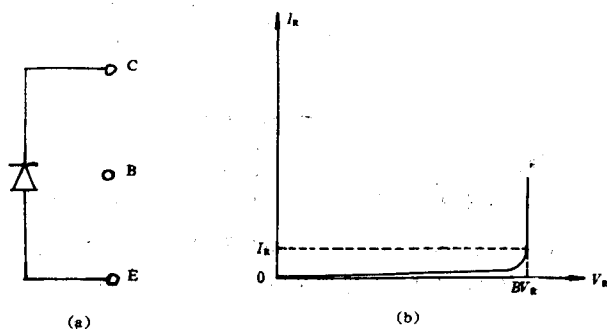


图 1-8 二极管反向特性曲线

二极管反向电流一般都很小,硅二极管比锗的还小。锗二极管在 μA 数量级,硅的在 nA 数量级。JT-1 晶体管特性图示仪 Y 轴集电极电流灵敏度最大只有 $10\mu A/\text{度}$,所以用 JT-1 特性图示仪很难测出二极管的反向电流 I_R 。从二极管反向伏安特性曲线可以看到二极管反向电流随反向电压变化很小,但它随温度升高却迅速增加,然而当反向电压增加到某个值时,反向电流却迅速猛增,这个反向电压就称为二极管的反向击穿电压,用 BV_R 表示。

请注意测二极管正向伏安特性曲线或二极管反向伏安特性曲线时,必须将“功耗限制电阻”取得足够大,否则将因功耗太大而损坏被测二极管。

(3) 稳压管特性测试

大家知道稳压管是利用二极管反向击穿(齐纳击穿或雪崩击穿)现象进行稳压的。所以其特性测试方法同二极管反向特性测试方法一样,只需将“峰值电压范围”开关位置改成“0~20V”,X轴作用的“伏/度”开关改成“1V/度”或需要的其他位置上,集电极电流灵敏度改为 $2mA/\text{度}$ 位置,其余的与二极管反向特性测试完全相同。稳压管测试连线与其特性曲线分别如图 1-9(a)、(b)所示。从这条特性曲线上可以测出稳压管的主要参数:

稳定电压 V_Z :即手册上提供的参考数值,稳定电流 I_Z 所对应的电压如图 1-9(b)所示,不同型号的稳压管稳定电压不同,同一型号稳压管稳定电压 V_Z 亦有一定的分散性,即各管稳定电压有一定的差异。

稳压管稳定电流的最大值 I_{Zmax} 与最小值 I_{Zmin} : I_{Zmin} 是稳压管刚进入稳压区所对应的稳定电流, I_{Zmax} 是根据稳压管额定功耗确定的最大允许稳定电流。为防止损坏,一般不测最大稳定电流 I_{Zmax} ,它的值可用手册上给定的额定功耗 P_Z 求出来,即 $I_{Zmax} \leq P_Z/V_Z$,比如 2DW7A 稳定电压为 6V,额定功耗为 200mW,则允许的最大电流 $I_{Zmax} = \frac{200mW}{6V}$ 将为 33mA 左右。

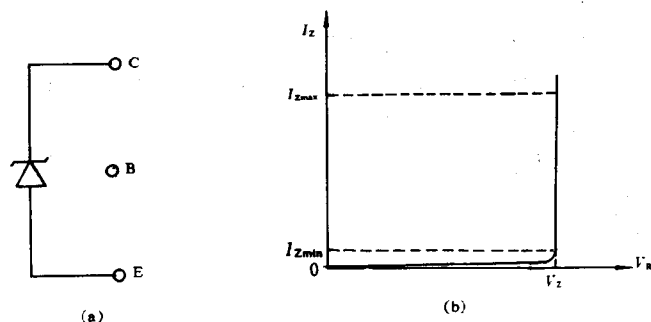


图 1-9 稳压管的特性曲线

动态内阻 r_z : 在稳压区内某点 Z 的交流电阻 r_z 为 $\Delta V_z / \Delta I_z$, 稳压管两端电压变化量与电流变化量的比值它随电流不同而变. 一般说工作电流越大, 动态电阻越小, 例如 2DW7C 当工作电流是 5mA 时, 动态内阻为 18Ω , 10mA 时为 8Ω , 20mA 时降为 2Ω ①. 由于动态内阻较小, 测量时 X 轴作用的“伏/度”开关灵敏度选得高些为好.

2. 晶体三极管特性测试

JT-1 型晶体管特性图示仪可以测晶体三极管的输入、输出特性以及反向电流和各种击穿电压等等. 下面以 NPN 型三极管为例分别加以介绍.

(1) 三极管输入特性测试

输入特性就是输入电流与输入电压的关系, 以 NPN 型三极管 3DG6D 共射极输入特性曲线为例, 它的输入电压为 V_{be} , 输入电流为 I_b , 测 $I_b \sim V_{be}$ 关系曲线时, 图示仪各开关应置下列位置上:

“峰值电压范围”开关置“0~20V”位置, “峰值电压”旋钮调至“零”的位置, 集电极扫描信号的“极性”置“十”的位置, 功耗限制电阻置 $1k\Omega$ 或 500Ω .

Y 轴作用的“毫安-伏/度”开关置“基极电流或基极源电压”位置, 即选为基极电流 I_b .

X 轴作用的“伏/度”开关选为基极电压的 $0.1V/\text{度}$ 位置, 对于 NPN 三极管 (如 3DG6D) 较为合适.

阶梯信号的“极性”开关置“十”的位置, “阶梯作用”开关置“重复”位置, “阶梯选择”开关置于阶梯电流的 $0.01mA/\text{级}$ 或 $0.02mA/\text{级}$ 的位置上均可, “级/族”旋钮调至 6~8 级即可.

“接地选择”开关置于“射极接地”位置.

将被测晶体管 3DG6D 按图 1-10(a) 所示接入可变插座 A, 在屏幕上便可得到如图 1-10(b) 所示的三极管输入特性曲线. 从这条特性曲线上可以测出三极管共射极输入电阻 r_{be} , 其值大小为该曲线某点处切线斜率的倒数, r_{be} 的表达式为:

$$r_{be} = \left. \frac{\Delta V_{be}}{\Delta I_b} \right|_{V_{ce}=0}$$

上边介绍的是对应 $V_{ce}=0$ 时的输入特性曲线, 如 V_{ce} 不为 0, 比如 $V_{ce}=1V$, 那么输入

① 见参考文献[1]33 页

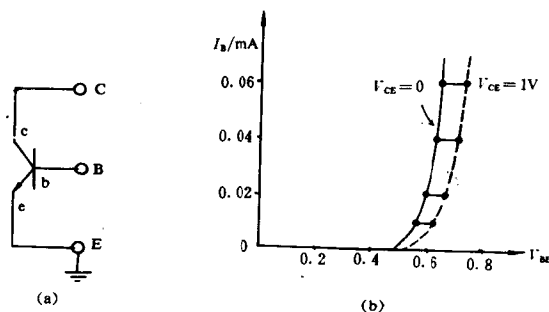


图 1-10 NPN 型三极管共射输入特性

特性曲线的形状如图 1-10(b)中右边那条曲线所示。

如若测共基极接法的输入特性曲线,只要将共射极接法中的测试台上的“接地选择”开关改接为“基极接地”位置;阶梯“极性”改成“-”的位置;“阶梯选择”的 mA/级数值增加比如 1mA/级或 2mA/级,因此时注入电流是 I_E ,而不是 I_B 的缘故;这样就可以得到共基极接法的输入特性曲线。

(2) 三极管输出特性测试

三极管输出特性以共射接法为例,它是集电极电流 I_C (以基极电流 I_B 为参变数)随集电极电压 V_{CE} 变化的特性曲线。这族特性曲线是最常用的,因为象共射电流放大系数 β , 输出阻抗 r_{ce} , 穿透电流 I_{CEO} 等均可从这族特性曲线上测出来。在图示仪上 I_C 由“Y 轴作用”单元提供, V_{CE} 由“集电极扫描信号”与“X 轴作用”两个单元提供, I_B 由“基极阶梯信号”单元提供;而且 I_C 、 V_{CE} 、 I_B 分别由它们调节与控制。测量方法是先将各开关置下列位置:

“峰值电压范围”开关置 0~20V 位置;“峰值电压”旋钮调至 0 的位置;集电极扫描信号“极性”置“+”的位置;“功耗限制电阻”置于 1k Ω 。

Y 轴作用的“毫安-伏/度”开关,置于集电极电流,其灵敏度可放在“1mA/度”位置上。

X 轴作用的“伏/度”开关选为集电极电压,其灵敏度可放在“1V/度”位置上。

“阶梯选择”开关选为阶梯电流,灵敏度可放在“0.01mA/级”或“0.02mA/级”上(读数方便为准);阶梯“极性”置“+”的位置;“阶梯作用”开关置“重复”位置;“级/族”旋钮放中间位置(6 级左右)上。

“接地选择”开关置于“射极接地”位置。

将被测管按图 1-11(a)所示接入可变插座 A,然后逐渐加大集电极扫描电压即峰值电压,便可在屏幕上得到如图 1-11(b)所示输出特性曲线。

从这族特性曲线可以确定出:

① 共射电流放大系数 β 值

大家知道共射电流放大系数 β 值随工作点不同而异,比如测 Q 点 ($I_{CQ} = 2.1\text{mA}$, $V_{CEQ} = 2\text{V}$),由图可知,过 Q 点作一条垂线与相邻两条曲线分别交于 Q_1 和 Q_2 ,它们所对应的集电极电流分别是 $I_{CQ1} = 2.8\text{mA}$, $I_{CQ2} = 1.4\text{mA}$;它们所对应的基极电流分别是 $I_{B1} = 0.04\text{mA}$, $I_{B2} = 0.02\text{mA}$ 。因而共射电流放大系数 β :

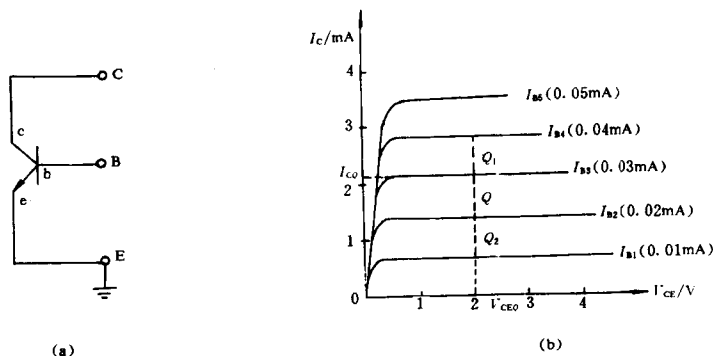


图 1-11 NPN 型三极管(3DG6D)输出特性曲线

$$\beta = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=0} = \frac{I_{CQ1} - I_{CQ2}}{I_{B4} - I_{B2}} = \frac{2.8 - 1.4}{0.04 - 0.02} = 70$$

有时为了便于读数也可以将 X 轴作用的“伏/度”开关由原来的集电极电压改为基极电流或基极源电压的位置,即 X 轴被选为基极电流 I_B ,便可得到如图 1-12 所示之 I_C-I_B 的关系曲线,该曲线斜率即为共射电流放大系 β 值。

② 共射极输出阻抗 r_{ce}

共射输出阻抗 r_{ce} 可从共射极输出特性曲线上确定下来,实际上它就是曲线在某点 Q 的切线斜率的倒数,

$$r_{ce} = \left. \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \right|_{I_B=0}$$

从这个表达式可知,三极管输出特性曲线越接近水平线时,输出阻抗就越大.测量的误差可能比较大,原因在于估计 ΔI_C 不易估计准的缘故。

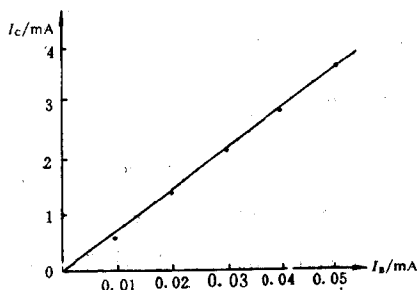


图 1-12 三极管 I_C-I_B 关系曲线

③ 穿透电流 I_{CEO} 的测试

对于硅的 NPN 型高频小功率管 I_{CEO} 很小,比如 3DG6A 的 $I_{CEO} \leq 0.1\mu A$, 3DG8A 的 $I_{CEO} \leq 1\mu A$,因而从输出特性曲线上根本无法测出这类晶体管的 I_{CEO} 数值,因为集电极电流的最高灵敏度为“ $10\mu A/\text{度}$ ”。但是锗的 PNP 型低频小功率管的 I_{CEO} 较大,比如 3AX21 的穿透电流 $I_{CEO} \leq 300\mu A$, 3AX31B 的 $I_{CEO} \leq 750\mu A$,可见从这一类晶体管输出特性曲线上可以测出穿透电流 I_{CEO} 的大小.图 1-13 为 3AX31B 的输出特性曲线,第一条曲线即为 $I_B=0$ 的那条,从这条曲线上可以测出 $I_{CEO}=400\mu A$ 。

利用硅 NPN 型高频小功率管穿透电流 I_{CEO} 很小,即 $I_{CEO} \approx 0$ 的特点,可使阶梯调零步骤大大简化.作法是,集电极电流灵敏度选得高点,比如取 $0.05\text{mA}/\text{度}$;基极电流 I_B 选得小点,如取 $0.002\text{mA}/\text{级}$.在荧光屏上扫出输出特性曲线后,旋转“阶梯调零”旋钮,使 $I_B =$

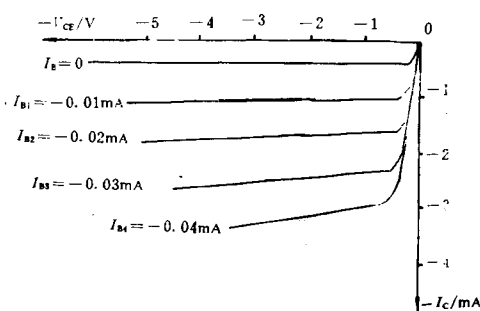


图 1-13 3AX31B 输出特性曲线

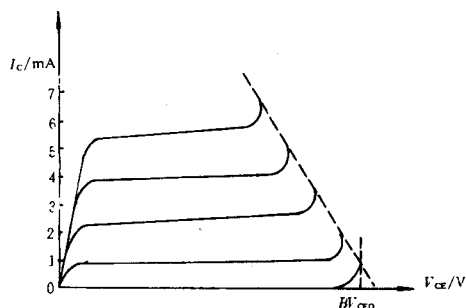


图 1-14 NPN 型三极管输出特性曲线

0 的那条(即 I_{CE0})曲线与电压(X)轴重合,如图 1-11(b)所示,此时就近似地认为阶梯调零调好了。

④击穿电压 BV_{CE0} 测试

只要测出晶体管输出特性曲线如图 1-11(b)所示之后,如果继续增加集电极扫描电压 V_{CE} ,当 V_{CE} 增加到某个值时,集电极电流迅速增加,当 I_{CE0} 增加到某个值时就认为达到了反向击穿电压 BV_{CE0} ,如图 1-14 所示。从图可知,随着 I_B 的增加,“集-射”之间的反向击穿电压随着减小。在测试过程中特别值得注意的是功耗限制电阻必须选得足够大,否则在测试过程中易将被测管损坏。

3. 场效应管特性测试

下面介绍 N 沟道结型场效应管 3DJ 系列和 N 沟道耗尽型 MOS 场效应管 3DO 系列特性曲线测试方法。现在常使用的也是这两类场效应管,它们工作电压极性相同,特性曲线形状也相似,因此我们就着重介绍这两种类型场效应管特性测试方法。输出特性曲线是最常用的,场效应管输出特性指的是漏极电流 I_{DS} 与漏源电压 V_{DS} 的关系(以栅源电压 V_{GS} 为参变数)。这是大家都知道的原因,晶体三极管为双极型器件,是电流控制的,场效应管则是电压控制的单极型器件。所以晶体三极管共射输出特性曲线是以基极电流 I_B 为参变数,而场效应管输出特性曲线则是以栅源电压 V_{GS} 为参变数的。测场效应管输出特性曲线时,其图示仪各开关自然应置下列位置。

Y 轴作用的“毫安-伏/度”开关,应选为集电极电流(实际为漏极电流),其灵敏度可因被测场效应管型号的不同而异,比如 3DJ6F 或 3DJ7F 可放在“0.2mA/度”位置,如若是 3DJ6G 或 3DJ7G 则可放在“1mA/度”位置上。

X 轴作用的“伏/度”开关,选为集电极电压(实际为漏源电压),其灵敏度一般可放在“1V/度”的位置上。

“阶梯选择”开关,应选阶梯电压(实际上是栅源电压),其灵敏度可放在“0.2V/级”的位置,阶梯“极性”开关,置于在“-”的位置;“级/族”旋钮视情况而定。

“峰值电压范围”开关,置“0~20V”位置;“峰值电压”旋钮,置“0”位置,集电极扫描极性放“+”位置上;“功耗限制电阻”选为 1kΩ 或 2kΩ。

接地选择开关选择“发射极接地”。